



PCT

特許協力条約に基づいて公開された国際出願

<p>(51) 国際特許分類7 H01J 37/147, H01L 21/30, G03F 7/20</p>	<p>A1</p>	<p>(11) 国際公開番号 WO00/48225</p> <p>(43) 国際公開日 2000年8月17日(17.08.00)</p>
<p>(21) 国際出願番号 PCT/JP00/00822</p> <p>(22) 国際出願日 2000年2月15日(15.02.00)</p> <p>(30) 優先権データ 特願平11/35526 1999年2月15日(15.02.99) JP 特願平11/100894 1999年4月8日(08.04.99) JP</p> <p>(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 株式会社 ニコン(NIKON CORPORATION)[JP/JP] 〒100-8331 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 Tokyo, (JP)</p> <p>(72) 発明者 ; および (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ) 山田篤志(YAMADA, Atsushi)[JP/JP] 上條康一(KAMIJO, Koichi)[JP/JP] 〒100-8331 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 Tokyo, (JP)</p> <p>(74) 代理人 永井冬紀(NAGAI, Fuyuki) 〒100-0013 東京都千代田区霞が関3丁目3番1号 尚友会館 Tokyo, (JP)</p>		<p>(81) 指定国 AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW, 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), ARIPO特許 (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM)</p> <p>添付公開書類 国際調査報告書</p>
<p>(54)Title: CHARGED PARTICLE RAY EXPOSURE DEVICE AND METHOD OF MANUFACTURING SEMICONDUCTOR DEVICE</p> <p>(54)発明の名称 荷電粒子線露光装置および半導体デバイス製造方法</p> <p>(57) Abstract A method of manufacturing a semiconductor device, comprising the steps of radiating a mask (3) by an illumination optical system, passing electron beams through a pattern on the mask to form an image on a wafer (4) through two lenses (1, 2), reduction-transferring the pattern on the mask (3) onto the wafer (4), and setting at least one of deflectors (C1 to C8) and (P1 to P4) forming a deflecting system (7) so that the expected half size of a deflecting coil and an Ampere Turn value are roughly zero in 3θ, 5θ, and 7θ components of a magnetic field generated by the deflection, whereby a quadruple aberration occurring in the deflection (7) can be reduced.</p> <div data-bbox="990 1260 1380 1932"> </div>		

(57)要約

照明光学系によりマスク 3 が照射され、その上のパターンを通過した電子線が、2つのレンズ 1, 2 によりウェハ 4 上に結像され、マスク 3 上のパターンをウェハ 4 上に縮小転写する。偏向器 7 を構成する偏向器 C 1 ~ C 8, P 1 ~ P 4 の内の少なくとも 1 つに関して、偏向器コイルの見込み半角と Ampere Turn 値が、当該偏向器によって発生する磁場の 3θ 成分、 5θ 成分および 7θ 成分のがほぼ 0 となるように設定される。その結果、偏向器 7 において発生する 4 重収差が低減される。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE アラブ首長国連邦	DM ドミニカ	KZ カザフスタン	RU ロシア
AG アンティグア・バーブーダ	DZ アルジェリア	LC セントルシア	SD スーダン
AL アルバニア	EE エストニア	LI リヒテンシュタイン	SE スウェーデン
AM アルメニア	ES スペイン	LK スリ・ランカ	SG シンガポール
AT オーストリア	FI フィンランド	LR リベリア	SI スロヴェニア
AU オーストラリア	FR フランス	LS レソト	SK スロヴァキア
AZ アゼルバイジャン	GA ガボン	LT リトアニア	SL シェラ・レオネ
BA ボスニア・ヘルツェゴビナ	GB 英国	LU ルクセンブルグ	SN セネガル
BB バルバドス	GD グレナダ	LV ラトヴィア	SZ スワジランド
BE ベルギー	GE グルジア	MA モロッコ	TD チャード
BF ブルキナ・ファソ	GH ガーナ	MC モナコ	TG トーゴ
BG ブルガリア	GM ガンビア	MD モルドヴァ	TJ タジキスタン
BJ ベナン	GN ギニア	MG マダガスカル	TM トルクメニスタン
BR ブラジル	GR ギリシャ	MK マケドニア旧ユーゴスラヴィア	TR トルコ
BY ベラルーシ	GW ギニア・ビサウ		TT トリニダード・トバゴ
CA カナダ	HR クロアチア	ML マリ	TZ タンザニア
CF 中央アフリカ	HU ハンガリー	MN モンゴル	UA ウクライナ
CG コンゴ	ID インドネシア	MR モーリタニア	UG ウガンダ
CH スイス	IE アイルランド	MW マラウイ	US 米国
CI コートジボアール	IL イスラエル	MX メキシコ	UZ ウズベキスタン
CM カメルーン	IN インド	MZ モザンビーク	VN ヴェトナム
CN 中国	IS アイスランド	NE ニジェール	YU ユーゴスラヴィア
CR コスタ・リカ	IT イタリア	NL オランダ	ZA 南アフリカ共和国
CU キューバ	JP 日本	NO ノールウェー	ZW ジンバブエ
CY キプロス	KE ケニア	NZ ニュー・ジーランド	
CZ チェッコ	KG キルギスタン	PL ポーランド	
DE ドイツ	KP 北朝鮮	PT ポルトガル	
DK デンマーク	KR 韓国	RO ルーマニア	

明細書

荷電粒子線露光装置および半導体デバイス製造方法

本出願は日本国特許出願平成 11 年第 3 5 5 2 6 号および日本国特許出願平成 11 年第 1 0 0 8 9 4 号を基礎とし、その内容は引用文としてここに含まれる。

技術分野

本発明は、荷電粒子線を用いて、マスク又はレチクルに形成されたパターンの像をウェハ等の感応基板に投影露光する荷電粒子線露光装置に関する。

背景技術

従来の荷電粒子線露光装置の露光方式は概ね以下の 3 種に分類される。

- (1) スポットビーム露光方式
- (2) 可変成形露光方式
- (3) ブロック露光方式

これらの露光方式は従来の光による一括転写方式に比較して、解像度において非常に優位性があるが、スループットにおいて大きく劣っていた。特に (1)、(2) の露光方式では、非常に小さいスポット径や矩形ビームでパターンをなぞるようにして露光を行うため、スループットは制限される。また、(3) のブロック露光方式はスループットを改善するために開発された方式であり、定型化されたパターンをマスク化し、その部分については一括露光することにより、スループットを改善している。ところが、この方式においてもマスク化されるパターン数が制限されるため、可変成形露光方式を併用せざるを得ず、そのため、スループットは期待ほどには向上できていない。

このように従来の荷電粒子線露光装置の欠点であるスループットを向上させるために、レチクルの一部を一括して試料上に投影露光する分割投影転写方式の露光装置の開発が進められている。

この分割投影転写方式の露光装置では、試料（通常はウェハである）上には複数のチップが形成され、さらに各チップの領域は複数のストライプに、各ストライプ

イブは複数のサブフィールドにそれぞれ分割されている。一方、レチクルには試料のチップに転写されるパターンが形成されており、このパターンはチップのストライプおよびサブフィールドに対応して同様のストライプおよびサブフィールドに分割されている。

電子線を用いた露光方法を説明すると、まず、レチクルが装着されたレチクルステージと試料が装着されたウェハステージとを対応するストライプの中心を縮小比に従った速度で定速移動させる。電子線はレチクル上のサブフィールドを照明し、レチクル上に形成されたパターンは、投影光学系によって試料上に投影されて試料が露光される。

そして、電子線をレチクルステージの進行方向と略直角な方向に偏向させ、順次、一列に配置されたサブフィールドの投影露光を行う。一列のサブフィールドの投影露光が終了すると、次の列のサブフィールドの投影露光を開始する。その際、各列ごとに電子線の偏向方向を逆にして順次サブフィールドの投影露光を行うことにより、スループットを上げるようにしている。

このような方法で露光が行われるため、従来の荷電粒子線露光装置と比較すると、サブフィールド領域が一括露光され、またレチクルには露光すべきパターンが全て形成されているため、非常にスループットを向上させることができる。

発明の開示

こうした電子線を用いた露光装置の投影光学系はレンズや偏向器等により構成されるが、偏向器コイルの見込み半角や、各偏向器コイルに流す電流の設定によっては、偏向器から偏向場以外の磁場も同時に発生する。光軸周りの回転角を θ とした円筒座標系 (z, r, θ) で磁場分布を表すと、偏向場は最低次の三角関数 $\cos[\theta]$ 、 $\sin[\theta]$ に比例する成分の結合の形で表されるが、偏向場以外の磁場は $\cos[3\theta]$ 、 $\sin[3\theta]$ 、 $\cos[5\theta]$ 、 $\sin[5\theta]$ 等の奇数次の三角関数に比例した成分の結合で表される。

これらの高次成分は、電子線の偏向には寄与しないが、いわゆる「4重収差」とよばれる一群の収差を発生する。これらの4重収差により電子線の像がボケたり、投影像の形状が歪んだりすることは、ウェハ面上に形成される集積回路の断

線や、形状の変化を引き起こし好ましくない。これらの4重収差は、 3θ 成分や 5θ 成分がほぼ0となるように設計された偏向器からも発生している。従来は、偏向器の組み立て誤差により、 3θ 成分や 5θ 成分が生じていると考え、コイルの加工精度や組み立て精度の向上が試みられてきたが、これらによっても十分な成果が得られていなかった。

このような問題は、電子線を用いた露光装置だけでなく、他の荷電粒子線を用いた場合にも起こりうる問題である。

本発明の目的は、偏向器において発生する4重収差を低減した荷電粒子線露光装置を提供することにある。

本発明の他の目的は、線幅の非常に小さな集積度の高い半導体デバイス、および、そのような半導体デバイスを製造できる半導体デバイス製造方法を提供することにある。

上記目的を達成するため、本発明による荷電粒子線露光装置では、荷電粒子線を偏向する偏向器の少なくとも1つについて、その偏向器の偏向器コイルの見こみ半角と Ampere Turn 値を、当該偏向器によって発生する磁場の 3θ 成分、 5θ 成分および 7θ 成分がほぼ0となるように設定する。その結果、 3θ 成分、 5θ 成分および 7θ 成分に起因する4重収差をほぼ0とすることができる。

ここで、偏向器を見込み半角 θ_i がほぼ $180^\circ \times i/(2n+1)$ である n 組 ($n \geq 2$ 、 $i = 1 \sim n$) の偏向器コイルから構成し、次式(1)、(2)が1から m までの各整数 k に対してほぼ成立するように各偏向器コイル i の Ampere Turn 値 J_i を設定することができる。ただし、 m の値は、最小値3 ($n=2$ のとき1、 $n=3$ のとき2)と最大値($n-1$)の間の任意の整数に設定される。

または、偏向器を見込み半角 θ_i がほぼ $180^\circ \times (i-1/2)/(2n-1)$ である n 組 ($n \geq 3$ 、 $i = 1 \sim n$) の偏向器コイルから構成し、次式(1)、(2)が1から m までの各整数 k に対してほぼ成立するように各偏向器コイル i の Ampere Turn 値 J_i を設定しても良い。ただし、 m の値は、最小値3 ($n=3$ のとき2)と最大値($n-1$)の間の任意の整数に設定される。

$$\sum_{i=1}^n J_i \cdot \sin(\theta_i) \neq 0 \quad \cdots (1)$$

$$\sum_{i=1}^n J_i \cdot \sin(2k+1)\theta_i = 0 \quad (k=1,2,\cdots,m) \quad \cdots (2)$$

その結果、偏向器により発生する磁場の奇数次成分を、少なくとも7次成分まではほぼ0とすることができる。さらに、偏向コイルの組数をnとするとともに条件を適当に設定することにより、偏向器が発生する磁場の奇数次成分を、 $(4n-1)$ 次成分まではほぼ0とすることができる。よって、これらにより発生する重ね収差の発生を防ぐことができる。

また、偏向器コイルの見こみ半角と Ampere Turn 値を、磁場の3 θ 成分、5 θ 成分および7 θ 成分がほとんど発生しないように設定するとともに、それらの偏向器コイルの中に、見こみ半角が45°の偏向器コイルを含むか、または、異なる2つの偏向器コイルの見込み半角の和が90°となるような偏向器コイルを含むように構成しても良い。その結果、光軸方向の同じ位置に置いたX軸方向偏向器とY軸方向偏向器のコイルのうち、少なくとも一つが重なるように設定されるため、重なった位置のコイルを一つのコイルとしてコイルの数を減らすことができる。また、このコイルに、X軸方向偏向器として要求される電流とY軸方向偏向器として要求される電流との和を流すことにより、電流発生装置の数を減らし、コストの削減を図ることができる。

上述したもの以外に、偏向器を見込み半角 θ_i がほぼ $180^\circ \times i/(2n)$ であるn組($n \geq 3$ 、 $i = 1 \sim n$)の偏向器コイルで構成し、次式(1)、(2)が1からmまでの各整数kに対してほぼ成立するように各偏向器コイルiの Ampere Turn 値 J_i を設定するようにしても良い。ただし、mの値は、最小値3($n = 3$ のとき2)と最大値($n - 1$)の間の任意の整数に設定される。

または、偏向器を見込み半角 θ_i がほぼ $180^\circ \times (i - 1/2)/(2n)$ であるn組($n \geq 3$ 、 $i = 1 \sim n$)の偏向器コイルから構成し、次式(1)、(2)が1からmまでの各整数kに対してほぼ成立するように各偏向器コイルiの Ampere Turn 値 J_i を設定する。ただし、mの値は、最小値3($n = 3$ のとき2)と最大値($n - 1$)の間の任意の整数に設定される。

$$\sum_{i=1}^n J_i \cdot \sin(\theta_i) \neq 0 \quad \cdots(1)$$

$$\sum_{i=1}^n J_i \cdot \sin(2k+1)\theta_i = 0 \quad (k=1,2,\cdots,m) \quad \cdots(2)$$

その結果、偏向器により発生する磁場の奇数次成分を、少なくとも7次成分まではほぼ0とすることができる。さらに、偏向コイルの組数をnとするとともに条件を適当に設定することにより、偏向器が発生する磁場の奇数次成分を、 $(4n-1)$ 次成分まではほぼ0とすることができる。よって、これらにより発生する重ね収差の発生を防ぐことができる。

また、偏向器をn組 ($n \geq 3$) の偏向器コイルで構成し、これらの偏向器コイルの見こみ半角と Ampere Turn 値を、磁場の3 θ 成分、5 θ 成分および7 θ 成分がほとんど発生しないように設定しても良い。この場合、各々のコイルの Ampere Turn 値が等しく設定されているため、コイル用電源装置を共通にすることができ、コストダウンを図ることができる。

さらに、リソグラフィ工程を有する半導体デバイス製造方法において、リソグラフィ工程に上述したような荷電粒子線露光装置を使用することにより、線幅の非常に小さな密度の高い半導体デバイスを製造することができる。

図面の簡単な説明

図1は、本発明による荷電粒子線露光装置の実施例を示す概略図である。

図2は、例1に用いたトロイダル型偏向器のコイル配置を示す図である。

図3は、例2に用いたトロイダル型偏向器のコイル配置を示す図である。

図4は、例3に用いたトロイダル型偏向器のコイル配置を示す図である。

図5は、例4に用いたトロイダル型偏向器のコイル配置を示す図である。

図6は、比較例に用いたトロイダル型偏向器のコイル配置を示す図である。

図7は、分割投影転写方式の露光装置における分割露光の単位を示す図である。

図8は、分割投影露光装置の露光方式を示す図である。

図9は、半導体デバイス製造方法を示すフローチャートである。

図10は、ウェハプロセス工程におけるリソグラフィ工程の内容を示すフローチャートである。

図 1 1 は、第 1 ～ 第 6 の実施の形態に対応する偏向器を構成する偏向器コイルの見込み半角を示す図。

図 1 2 は、第 1 ～ 第 6 の実施の形態に対応する偏向器を構成する偏向器コイルの Ampere Turn 値を示す図。

図 1 3 は、第 1 ～ 第 6 の実施の形態に対応する偏向器の d_{2k-1} の値を示す図。

図 1 4 は、第 1 ～ 第 6 の実施の形態に対応する偏向器する偏向器コイルの見込み半角および Ampere Turn 値の許容誤差を示す図。

図 1 5 は図 1 に示す荷電粒子線露光装置の投影光学系に本発明を適用した場合の、評価結果を示す図。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の実施形態 (embodiment) について、図を用いて説明する。図 1 は、荷電粒子線露光装置の概略構成を示す図である。図 1 において 1、2 はレンズ、3 はマスク、4 は感応基板であるウェハ、5 は散乱アパーチャー、6 は光軸、7 (C 1 ～ C 8 および P 1 ～ P 4) は偏向器、8 は電子線の軌道である。電子銃等の電子線源 9 から出射された電子線は、照明光学系を構成するコンデンサーレンズ 1 0 および偏向器 1 1 によりマスク 3 のサブフィールドの一つに照射される。サブフィールドのパターンを通過した電子線は、2 つのレンズ 1、2 によりウェハ 4 上に結像され、マスク 3 上のパターンの像がウェハ 4 上に縮小投影される。

レンズ 1 とレンズ 2 の間には、散乱線をカットするための散乱アパーチャー 5 が設けられている。偏向器 7 は合計 1 2 個設けられており、散乱アパーチャー 5 よりマスク側に C 1 ～ C 8 の 8 個が、散乱アパーチャー 5 よりウェハ側に P 1 ～ P 4 の 4 個が設けられている。これらの偏向器 7 は、マスク 3 の所定の位置を出発した電子線が、電子線の所定の軌道 8 上に乗って、散乱アパーチャー 5 を通過し、ウェハ 4 の所定の位置に結像するように電子線を偏向させるほか、像の歪みや収差を取り除く。

ところで、発明者らは、上述したように 3 θ 成分や 5 θ 成分がほぼ 0 となるように設計された偏向器においても 4 重収差が残るのは、7 θ 成分により無視でき

ぬ大きさの 4 重収差が発生するためであることを数値計算により見出した。

そこで、本発明では、偏向器 11 および偏向器 7 を構成する偏向器 C1～C8, P1～P4 の少なくとも一つの偏向器の偏向器コイルの配置（見こみ半角）と Ampere Turn 値を、磁場の 3θ 成分、5θ 成分だけでなく、7θ 成分がほとんど発生しないように設定することにより、4 重収差がほぼ 0 となるようにした。ここで、「ほとんど発生しない」とは、荷電粒子線露光装置に設計上許される範囲内の 4 重収差であれば、完全に発生しない状態でなくてもよいということである。なお、以下の説明では、投影光学系に設けられた偏向器 C1～C8, P1～P4 に対して、上述のように設定する場合について説明するが、照明光学系の偏向器 11 についても全く同様に適用することができる。

以下では偏向コイル i の見こみ半角を θ_i , 偏向コイル i の Ampere Turn 値を J_i として、4 重収差がほぼ 0 となるような実施形態について説明する。

（第 1 の実施の形態）

偏向器が見込み半角 $\theta_i = 180^\circ \times i/(2n+1)$ を有する n 組 ($n \geq 2$, $i = 1 \sim n$) の偏向器コイルから構成され、次式 (1), (2) が 1 から m までの各整数 k に対して成り立つように各偏向器コイル i の Ampere Turn 値 J_i を設定する。ただし、 m の値は、最小値 3 ($n = 2$ のとき 1, $n = 3$ のとき 2) と最大値 ($n - 1$) の間の任意の整数に設定される。

$$\sum_{i=1}^n J_i \cdot \sin(\theta_i) \neq 0 \quad \cdots (1)$$

$$\sum_{i=1}^n J_i \cdot \sin(2k+1)\theta_i = 0 \quad (k=1,2,\cdots,m) \quad \cdots (2)$$

(1) 式の左辺は偏向に寄与する磁場を表しており、(1) 式は偏向に寄与する磁場が 0 でないことを示すものである。一方、(2) 式の左辺は偏向器によって発生する磁場の $(2k+1)\theta$ 成分をそれぞれ表しており、(2) 式は偏向器によって発生する磁場の $(2k+1)\theta$ 成分が 0 であることを示すものである。

偏向器コイルの組数が $n \geq 4$ の場合には m の最小値が 3 なので、 n の値がどのような場合であっても $k = 1$ から $k = 3$ まで (2) 式が成り立つように設定される。このことから、 $k = 1$ から $k = 3$ までのそれぞれについて $(2k+1)\theta$ 成分が 0 となることが保証されるので、3θ、5θ、7θ 成分を 0 とすることができる。

偏向器コイルの組数が $n = 3$ の場合には、(2) 式は $k = 1, 2$ に関して成立するので、 3θ 、 5θ 成分が 0 となる。しかし、各偏向器コイルの見込み半角 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 (ラジアン) は $\pi/7$ 、 $2\pi/7$ 、 $3\pi/7$ となるので、各 $\sin \theta_i$ は自動的に 0 となり、 7θ 成分は 0 となる。

偏向器コイルの組数が $n = 2$ の場合には、(2) 式により 3θ 成分が 0 となり、見込み半角 θ_1, θ_2 (ラジアン) が $\pi/5$ 、 $2\pi/5$ となるから 5θ 成分が 0 となる。 7θ 成分については、

$$\begin{aligned} \sin(7\theta_1) &= \sin(7\pi/5) = -\sin(-7\pi/5) \\ &= -\sin(2\pi - 7\pi/5) = -\sin(3\pi/5) \\ &= -\sin(3\theta_1) \end{aligned}$$

となる。

同様に、

$$\begin{aligned} \sin(7\theta_2) &= \sin(14\pi/5) = \sin(4\pi/5) \\ &= -\sin(2\pi - 4\pi/5) = -\sin(6\pi/5) \\ &= -\sin(3\theta_2) \end{aligned}$$

となる。よって、

$$\begin{aligned} J_1 \sin(7\theta_1) + J_2 \sin(7\theta_2) \\ = -[J_1 \sin(3\theta_1) + J_2 \sin(3\theta_2)] = 0 \end{aligned}$$

となって、 3θ 成分が 0 であることから、 7θ 成分が 0 となることが自動的に保証される。

このような三角関数の性質を利用すれば、偏向器コイルの組数が $n = 2$ の場合に限らず、 $n \geq 3$ においても、 m の値を最大値 $(n - 1)$ に設定して $k = 1 \sim (n - 1)$ について (2) 式を成り立たせ、 $(2n - 1)\theta$ 成分までを 0 とすれば、自動的に $(4n - 1)\theta$ 成分までが 0 となることが分かる。

以上のことより、条件 1 において高次成分中の 3θ 、 5θ 、 7θ 成分を 0 とするには、偏向器コイルの組数 n は 2 で十分であり、このように設定するのが最も経済的である。しかし、コイル駆動装置の電圧負荷などを考慮して 3 組以上の偏向器コイルを使用してもよい。なお、上述した説明では、偏向器を構成する偏向器コイルの見込み半角 θ_i と Ampere Turn 値 J_i とが (1) 式および (2) 式を満足すれ

ば、 3θ 成分、 5θ 成分、 7θ 成分が完全0となることを示したが、荷電粒子線露光装置に設計上許される範囲内の4重収差であれば、完全に0でなくても良い。すなわち、4重収差が許容範囲内となるのであれば、見込み半角 θ_i とAmpere Turn値 J_i とを(1)式および(2)式が「ほぼ」満足されるように設定し、 3θ 成分、 5θ 成分、 7θ 成分が「ほぼ」0となるようにしても良い。さらに、荷電粒子光学系が偏向器を複数有している場合には、同様の理由から、全ての偏向器について上述したように設定する必要はない。

3組以上の偏向器コイルを使用する場合は、必要な偏向量によって(1)式の左辺の値を決定し、かつ、 m の値を最大値 $(n-1)$ に設定して、1から $(n-1)$ までの k の値に対して(2)式を成立させると、 n 個の J_i に関して n 個の方程式が得られるので、各偏向器コイルのAmpere Turn値 J_i が一義的に定まる。

(第2の実施の形態)

偏向器が見込み半角 $\theta_i = 180^\circ \times (i - 1/2) / (2n - 1)$ である n 組($n \geq 3$ 、 $i = 1 \sim n$)の偏向器コイルから構成され、次式(1)、(2)が1から m までの各整数 k に対して成り立つように各偏向器コイル i のAmpere Turn値 J_i を設定する。ただし、 m の値は、最小値3($n=3$ のとき2)と最大値 $(n-1)$ の間の任意の整数に設定される。

$$\sum_{i=1}^n J_i \cdot \sin(\theta_i) \neq 0 \quad \cdots(1)$$

$$\sum_{i=1}^n J_i \cdot \sin(2k+1)\theta_i = 0 \quad (k=1,2,\cdots,m) \quad \cdots(2)$$

この第2の実施の形態においても、 $n \geq 4$ の場合については、上述した第1の実施の形態の場合と同様に $k=1$ から $k=3$ まで(2)式が成り立つように設定されるので、 $k=1$ から $k=3$ までのそれぞれについて $(2k+1)\theta$ 成分が0となることが保証され、 3θ 、 5θ 、 7θ 成分を0とすることができる。

偏向器コイルの組数 n が $n=3$ の場合には、(2)式により0となることが保証されているのは、 3θ 成分と 5θ 成分のみである。しかし、

$$\sin(7\theta_1) = \sin(7\pi/10) = \sin(\pi - 7\pi/10)$$

$$= \sin(3\pi/10) = \sin(3\theta_1)$$

$$\sin(7\theta_2) = \sin(14\pi/10) = \sin(2\pi - 7\pi/10)$$

$$=\sin(6\pi/10)=\sin(3\theta/2)$$

$$\sin(7\theta/3)=\sin(21\pi/10)=\sin(3\pi-21\pi/10)$$

$$=\sin(9\pi/10)=\sin(3\theta/3)$$

であるので、

$$J_1\sin(7\theta/1)+J_2\sin(7\theta/2)+J_3\sin(7\theta/3)$$

$$=|J_1\sin(3\theta/1)+J_2\sin(3\theta/2)+J_3\sin(3\theta/3)|=0$$

となり、 3θ 成分が0であることから、 7θ 成分も0となる。

このような三角関数の性質を利用すれば、 $n=3$ の場合に限らず、 $n\geq 4$ においても、 m の値を最大値 $(n-1)$ に設定して $k=1\sim(n-1)$ について(2)式を成り立たせ、 $(2n-1)\theta$ 成分までを0とすれば、自動的に $(4n-5)\theta$ 成分までが0となることが分かる。

以上のことより、第2の実施の形態において高次成分中の 3θ 、 5θ 、 7θ 成分を0とするには、偏向器コイルの組数 n は3で十分であり、このように設定するのが最も経済的である。しかし、コイル駆動装置の電圧負荷などを考慮して4組以上の偏向器コイルを使用してもよい。

4組以上の偏向器コイルを使用する場合は、必要な偏向量によって(1)式の左辺の値を決定し、かつ、 m の値を最大値 $(n-1)$ に設定して、1から $(n-1)$ までの k の値に対して(2)式を成立させると、 n 個の J_i に関して n 個の方程式が得られるので、各偏向器コイルの Ampere Turn 値 J_i が一義的に定まる。

なお、この第2の実施の形態のように偏向器コイルの見込み半角 θ_i を $\theta_i=180^\circ\times(i-1/2)/(2n-1)$ とした場合には、 n 番目($i=n$)の偏向器コイルの見込み半角 θ_n は必ず 90° となるので、たとえば、1象限と2象限、3象限と4象限の偏向器コイルが組をなしている場合、1象限と4象限、2象限と3象限のコイルがそれぞれ重なり合う。このような場合には、重なり合うコイルは1つのコイルで構成し、このコイルに、計算された Ampere Turn 値の2倍の Ampere Turn 値を与えるようにすればよい。

(第3の実施の形態)

第3の実施の形態では、偏向器コイルの見込み半角と Ampere Turn 値を、磁場の 3θ 成分、 5θ 成分および 7θ 成分がほとんど発生しないように設定するとと

もに、それらの偏向器コイルの中に、見込み半角が 45° の偏向器コイルを含むか、または、異なる2つの偏向器コイルの見込み半角の和が 90° となるような偏向器コイルを含むようにした。

この第3の実施の形態の場合には、X軸方向偏向器およびY軸方向偏向器において、少なくとも一つの偏向器コイルが同じ位置に置かれることになる。すなわち、Y軸方向偏向器はX軸方向偏向器を光軸の回りに 90° ずらしたものであり、例えば、見込み半角が 45° の偏向器コイルを含む場合には、X軸方向偏向器の偏向器コイルもY軸方向偏向器の偏向器コイルも同じ位置となる。このような場合には偏向器コイルを共用できるので、偏向器コイルの数と電流発生装置の数を減らすことができる。これら偏向器コイルに流す電流は、X軸方向偏向器で必要とされる電流と、Y軸方向偏向器で必要とされる電流の和となる。

(第4の実施の形態)

第4の実施の形態では、偏向器が見込み半角 $\theta_i = 180^\circ \times i/(2n)$ である n 組 ($n \geq 3$, $i = 1 \sim n$) の偏向器コイルで構成され、次式(1)、(2)が1から m までの各整数 k に対して成り立つように各偏向器コイル i の Ampere Turn 値 J_i を設定する。ただし、 m の値は、最小値3 ($n = 3$ のとき2)と最大値 ($n - 1$) の間の任意の整数に設定される。

$$\sum_{i=1}^n J_i \cdot \sin(\theta_i) \neq 0 \quad \cdots(1)$$

$$\sum_{i=1}^n J_i \cdot \sin(2k+1)\theta_i = 0 \quad (k=1,2,\cdots,m) \quad \cdots(2)$$

この第4の実施の形態においても、上述した第1の実施の形態や第2の実施の形態と同様に、 $n \geq 4$ のときは、(2)式により、 3θ 成分、 5θ 成分、 7θ 成分を0にすることができる。また、 $n = 3$ の場合には、(2)式により0となることが保証されているのは 3θ 成分、 5θ 成分のみであるが、

$$\sin(7\theta_1) = \sin(7\pi/6) = -\sin(7\pi/6 - 2\pi)$$

$$= -\sin(5\pi/6) = -\sin(5\theta_1)$$

$$\sin(7\theta_2) = \sin(14\pi/6) = -\sin(14\pi/6 - 4\pi)$$

$$= -\sin(10\pi/6) = -\sin(5\theta_2)$$

$$\sin(7\theta_3) = \sin(21\pi/6) = -\sin(21\pi/6 - 6\pi)$$

$$= -\sin(15\pi/6) = -\sin(5\theta/3)$$

であるので、

$$J_1 \sin(7\theta/1) + J_2 \sin(7\theta/2) + J_3 \sin(7\theta/3)$$

$$= -|J_1 \sin(5\theta/1) + J_2 \sin(5\theta/2) + J_3 \sin(5\theta/3)| = 0$$

となり、 5θ 成分が0であることから、 7θ 成分も0となる。

$n \geq 4$ の場合においても、同様な関係により、 $(2n-1)\theta$ 成分まで0となるように(2)式を定めれば、自動的に $(4n-3)\theta$ 成分までが0となる。

そのため、第4の実施の形態において高次成分中の 3θ 、 5θ 、 7θ 成分を0とするには、偏向器コイルの組数 n は3で十分であり、このように設定するのが最も経済的である。しかし、コイル駆動装置の電圧負荷などを考慮して4組以上の偏向器コイルを使用してもよい。4組以上の n 組のコイルを用いる場合には、 m の値を最大値 $(n-1)$ に設定して、1から $(n-1)$ までの k の値に対して(2)式を成立させることにより、各偏向器コイルの Ampere Turn 値 J_i の比は一義的に定まる。そして、既に述べたような三角関数の関係を用いることにより、 $(4n-3)\theta$ 成分までを0にすることができる。その上で、必要な偏向量によって(1)式の左辺の値を決定すると、各偏向器コイルの Ampere Turn 値 J_i が一義的に定まる。

なお、この第4の実施の形態のように見込み半角 θ_i を $\theta_i = 180^\circ \times i/(2n)$ とした場合には、 n 番目($i=n$)の偏向器コイルの見込み半角 θ_n は必ず 90° となるので、上述した第2の実施の形態条件2で述べたような偏向器コイルの重なりが発生するが、重なり合うコイルを1つのコイルとする手法については、第2の実施の形態条件2で説明した手法と同一である。

(第5の実施の形態)

第5の実施の形態では、偏向器が見込み半角 $\theta_i = 180^\circ \times (i-1/2)/(2n)$ である n 組($n \geq 3$ 、 $i=1 \sim n$)の偏向器コイルから構成され、次式(1)、(2)が1から m までの各整数 k に対して成り立つように各偏向器コイル i の Ampere Turn 値 J_i を設定する。ただし、 m の値は、最小値3($n=3$ のとき2)と最大値 $(n-1)$ の間の任意の整数に設定される。

$$\sum_{i=1}^n J_i \cdot \sin(\theta_i) \neq 0 \quad \cdots (1)$$

$$\sum_{i=1}^n J_i \cdot \sin(2k+1)\theta_i = 0 \quad (k=1,2,\cdots,m) \quad \cdots (2)$$

この第5の実施の形態においても、 $n \geq 4$ のときは、(2)式により、 3θ 成分、 5θ 成分、 7θ 成分を0にすることができる。また、 $n=3$ の場合は、(2)式により0となることが保証されているのは 3θ 成分、 5θ 成分のみであるが、

$$\sin(7\theta_1) = \sin(7\pi/12) = \sin(\pi - 7\pi/12)$$

$$= \sin(5\pi/12) = \sin(5\theta_1)$$

$$\sin(7\theta_2) = \sin(14\pi/12) = \sin(2\pi - 14\pi/12)$$

$$= \sin(10\pi/12) = \sin(5\theta_2)$$

$$\sin(7\theta_3) = \sin(21\pi/12) = \sin(3\pi - 21\pi/12)$$

$$= \sin(15\pi/12) = \sin(5\theta_3)$$

であるので、

$$J_1 \sin(7\theta_1) + J_2 \sin(7\theta_2) + J_3 \sin(7\theta_3)$$

$$= [J_1 \sin(5\theta_1) + J_2 \sin(5\theta_2) + J_3 \sin(5\theta_3)] = 0$$

となり、 5θ 成分が0であることから、 7θ 成分も0となる。

$n \geq 4$ の場合においても、同様な関係により、 $(2n-1)\theta$ 成分まで0となるように(2)式を定めれば、自動的に $(4n-3)\theta$ 成分までが0となる。

第5の実施の形態において高次成分中の 3θ 、 5θ 、 7θ 成分を0とするには、偏向器コイルの組数 n は3で十分であり、このように設定するのが最も経済的である。しかし、コイル駆動装置の電圧負荷などを考慮して4組以上の偏向器コイルを使用してもよい。4組以上の n 組のコイルを用いる場合には、 m の値を最大値 $(n-1)$ に設定して、1から $(n-1)$ までの k の値に対して(2)式を成立させることにより、各偏向器コイルのAmpere Turn値 J_i の比は一義的に定まる。そして、既に述べたような三角関数の関係を用いることにより、 $(4n-3)\theta$ 成分までを0にすることができる。その上で、必要な偏向量によって(1)式の左辺の値を決定すると、各偏向器コイルのAmpere Turn値 J_i が一義的に定まる。

(第6の実施の形態)

第6の実施の形態では、偏向器が n 組 ($n \geq 3$) の偏向器コイルを有し、これらの偏向器コイルの見込み半角と Ampere Turn 値を、磁場の 3θ 成分、 5θ 成分および 7θ 成分がほとんど発生しないように設定する。

具体的には、次式(5)、(6)が少なくとも2以下の k について、各々、満足されればよい。

$$\sum_{i=1}^n \sin(\theta_i) \neq 0 \quad \cdots(5)$$

$$\sum_{i=1}^n \sin(2k+1)\theta_i = 0 \quad (k=1,2,\cdots,n-1) \quad \cdots(6)$$

これらの式の解は、 $n \geq 4$ のときは容易に求まる。また、 $n = 3$ のときは、(6)式が一次独立でないとき、及び上述した第1、第2、第4および第5の実施の形態で述べたような対称性がある場合に解が求まる。

この第6の実施の形態においては、各偏向器コイルに流す電流を同じにすることができるので、電源装置の数を少なくすることができ、経済的である。

ところで、上述した第1、第2、第4および第5の実施の形態において、単に、 3θ 、 5θ 、 7θ 成分を消去するのみであれば、5組以上の偏向器コイルを用いた場合でも、 m を最小値3に設定して $k = 1, 2, 3$ について(2)式を満足するようにし、これと(1)式とを連立させれば、各偏向器コイルの Ampere Turn 値 J_i を求めることができる。しかし、このような場合には、各偏向器コイルの Ampere Turn 値 J_i を決定するには方程式の数が足りないので、Ampere Turn 値 J_i が一義的には求まらず、冗長性を有することとなる。よって、 $n \geq 5$ の場合においても、1から $(n-1)$ までの k について(2)式を満足させるようにし、より高次の θ 成分を除去するようにすることが好ましい。

上述した第1～第6の実施の形態に対して、これらを満たすような偏向器コイルの組み合わせ例を図11～図14に示した。図11～図14には、No.により区別される12種類の偏向器が示されている。用いられている偏向器は、いずれもトロイダル型偏向器である。図11は偏向器コイルの見込み半角、図12はそれらの偏向器コイルの Ampere Turn 値、図13は(7)式で示される値 d_{2k-1} である。 d_{2k-1} において、 d_1 は上述した(1)式の左辺の値を、 d_3 以降は(2)式の左辺の値をそれぞれ示しており、 d_3 、 d_5 、 d_7 は 3θ 、 5θ 、 7θ 成分を、 d_9 以

降はより高次の θ 成分を表している。

$$\sum_{i=1}^n J_i \cdot \sin(2k-1)\theta_i \quad (k=1,2,\dots,n) \quad \dots(7)$$

(7) 式において n は偏向器コイルの組数である。図 1 1 ～ 図 1 4 において、偏向器 No.1 ～ 偏向器 No.3 は第 1 の実施の形態による偏向器を、偏向器 No.4 ～ 偏向器 No.6 は第 2 の実施の形態による偏向器を、偏向器 No.7, No.8 は第 4 の実施の形態による偏向器を、偏向器 No.9, No.10 は第 5 の実施の形態による偏向器を、偏向器 No.11 および偏向器 No.12 は第 6 の実施の形態による偏向器を表している。また、各偏向器の偏向器コイルの組数 n は、偏向器 No.1 が 2、偏向器 No.2, No.4, No.7, No.9 および No.11 が 3、偏向器 No.3, No.5, No.8, No.10 および No.12 が 4、偏向器 No.6 が 5 である。

図 1 3 において、0 でない成分が出た次数より高い次数における場の成分の大きさは調べても無意味であるので記載していない。図 1 4 は、4 重収差による非線型歪みを 10nm 未満とするための見込み半角の許容誤差（Ampere Turn 値に誤差が無いとした場合）と、Ampere Turn 値の許容誤差（見込み半角に誤差がないとした場合）である。コイルの設定角度、Ampere Turn 値は、荷電粒子露光装置に要求される設計精度に応じて、図 1 1 および図 1 2 に示されるような理論値からある程度のずれが許されるが、この程度は、許される非線型歪みに応じて、図 1 4 を用いることにより当業者が適宜決定することができる。

なお、図 1 2 における Ampere Turn 値は、トロイダルコイルにおいて、見込み半角が 60° の偏向コイル 1 組を使用して 1 Ampere Turn の励磁を与えた場合と、同じ偏向感度を得るために必要な Ampere Turn 値を示している。すなわち、(8) 式を満足させるように、各 J_i の値を決定している。また、見込み半角が 90° のコイルにおいては、前述のように、図 1 2 における値の 2 倍の Ampere Turn 値を与えるようにしている。

$$\sum_{i=1}^n J_i \cdot \sin(\theta_i) = \sin 60^\circ \quad \dots(8)$$

なお、上述した図 1 1 ～ 図 1 4 では、いずれもトロイダルコイルを例にあげて説明したが、サドルコイルやコンパウンドサドルコイルについても、本発明を適

用することが可能である。この場合に、コイルの弧部分の線同士の重なりが問題になるときは、互いに重なる部分のコイル線を半径方向や光軸方向にずらし、かつ、ずれによる影響を無くするように設計すればよい。

後述するように、図 1 に示した荷電粒子線露光装置では、12 個の偏向器 C 1 ~ C 8, P 1 ~ P 4 の全てに対して上述した第 1 ~ 第 6 の実施の形態の何れかを適用したが、必ずしもそのようにする必要はなく、少なくとも 1 つの偏向器について満足させればよい。

図 1 において、マスク 3 とウェハ 4 間の距離を 600mm とし、マスク 3 における 1mm 角のパターンがウェハ 4 上で 0.25mm 角になるようにレンズ 1、2 の励磁電流を設定し、4 分の 1 縮小露光転写を行っている。以下においては、開き角 6mrad のビームでマスク 3 上のパターンを光軸 6 から 2.5mm 離れたウェハ 4 上の位置に照射する場合を考え、そのときの像に生じるボケと、歪みで、偏向器の性能を評価する。

図 1 5 は評価結果を示すものであるが、4 種類の例と比較例（従来の方式によるもの）とを示した。図 1 5 には、使用した偏向器（いずれもトロイダル型偏向器）の寸法、偏向器コイルの構成（組数）と見込み半角、Ampere Turn 値、および各々の場合における高次収差（ボケ、歪み）を示す。なお、4 重収差の起因となる磁場の次数成分により、3 次成分により発生する 4 重収差、5 次成分により発生する 4 重収差、7 次成分により発生する 4 重収差、9 次成分により発生する 4 重収差に分けて示した。

図 1 5 に示す例では、偏向器 C 1 ~ C 8, P 1 ~ P 4 は全て同一タイプの偏向器である。例（example）1 ~ 4 として示される偏向器と図 1 1 ~ 図 1 4 に示した偏向器 1 ~ 12 との対応については、例 1 の偏向器には偏向器 No.1 が適用され、例 2 の偏向器には偏向器 No.11 が、例 3 の偏向器には偏向器 No.2 が、例 4 の偏向器には偏向器 No.3 がそれぞれ適用されている。比較例として示されているのは、磁場の 3 θ 、5 θ 成分は消えるが 7 θ 成分は消えないような角度構成を使用した偏向器である。また、図 2 に例 1 の偏向器の横断面図を、図 3 に例 2 の偏向器の横断面図を、図 4 に例 3 の偏向器の横断面図を、図 5 に例 4 の偏向器の横断面図を、図 6 に比較例の偏向器の横断面図をそれぞれ示す。

図15を見るとわかるように、比較例の場合、 7θ 成分が消去されるように偏向器の角度構成が設定されていないために、消去できない4重収差によるボケが250nm以上、歪みが300nm以上発生している。これに対し、 7θ 成分を消去するよう構成が設定されている例1～例4の全てにおいて、 7θ 成分までに起因する4重収差は0となっている。

例1と例2の場合には、 9θ 成分が消去されるように見込み角の角度構成を設定していないので、これに起因する4重収差が発生している。例2の見込み角の角度及び、Ampere Turn 値の設定は、例1のそれと比べて、 9θ 成分の発生量が約6割になるように設計されている。これにより、例2における4重収差は例1の約6割に低減されている。

例3及び例4の場合には、 9θ 成分も消去されるよう見込み角の角度構成及び、Ampere Turn 値が設定されているので、 9θ 成分に起因する4重収差まで、全ての重ね収差の発生を防ぐことができる。

次に、このような露光装置を用いた分割投影転写方式の露光について説明する。図7は分割露光の単位を示す図であり、基板（通常はウェハである）W上には複数のチップ103が形成され、さらにチップ103の領域は複数のストライプ104に、各ストライプ104は複数のサブフィールドSにそれぞれ分割されている。レチクル3（図1参照）にはチップ103の領域に転写されるパターンが形成されており、このパターンは、チップ103のストライプ104に対応してストライプ204（図8参照）に分割され、さらにストライプ204はストライプ104のサブフィールドSに対応してサブフィールドS'に分割されている。

分割投影転写方式の露光では、通常、図8に示すような方法で露光が行われる。図8では、ウェハWの1つのストライプ104とレチクル3の対応するストライプ204とを示した。まず、レチクル3が装着されたレチクルステージとウェハWが装着されたウェハステージとを、ストライプ104、204の中心に沿って縮小比に従った速度で等速移動させる。レチクル上のサブフィールドS'は電子線EBによって照明され、サブフィールドS'に形成されたパターンの像が図1に示すような投影光学系によってウェハWの対応するサブフィールドS上に縮小投影される。

そして、電子線EBをレチクルステージの進行方向と略直角な方向に偏向させ、順次、一列に配置されたサブフィールドS', Sの投影露光を行う。一列のサブフィールドS', Sの投影露光が終了すると、次の列のサブフィールドS', Sの投影露光を開始するが、その際、各列ごとに図8に示すように電子線EBの偏向方向を逆にして、ラインL', Lのように順次サブフィールドS', Sの投影露光を行うことにより、スループットを上げるようにしている。

この露光方式で使用するレチクルは、光を使用した露光装置の場合とは異なり、図8に示すようにパターンが形成されるサブフィールドS'とその周辺の梁部STに分割されている。梁部STは、レチクル自体の強度を保つためや、露光すべきサブフィールドS'のみが電子線EBにより照明されるように設けられたものである。

次いで、上述した露光装置が適用される半導体デバイス製造方法について説明する。図9は半導体デバイス製造方法を示すフローチャートであり、主工程として、ウェハを製造するウェハ製造工程S1、ウェハにチップを形成するのに必要な加工処理を行うウェハプロセッシング工程S2、ウェハに形成されたチップを1個ずつ切り出して、デバイスとして動作可能な形態に組み立てるチップ組み立て工程S3、完成したチップを検査するチップ検査工程S4、およびウェハプロセッシング工程S2で使用するマスクを製作するマスク製造工程S5を有している。

これらの工程の中で、半導体デバイスの性能に決定的な影響を有する工程はウェハプロセッシング工程S2である。このウェハプロセッシング工程S2では、設計された回路パターンがウェハ上に順次積層形成され、メモリーやMPUとして動作するデバイスチップがウェハ上に多数形成される。そのため、ウェハプロセッシング工程S2には、①CVDやスパッタリング等を用いて絶縁層となる誘電体薄膜や、配線部、電極部を形成する金属薄膜等を形成する薄膜形成工程、②ウェハ基板や薄膜形成工程で形成された薄膜層を酸化する酸化工程、③薄膜層やウェハ基板等を選択的に加工するために、マスク（レチクルとも呼ばれる）を用いてレジストパターンを形成するリソグラフィ工程、④レジストパターンを用いてドライエッチング等により薄膜層や基板を加工するエッチング工程、⑤イオン

・不純物注入工程、⑥レジスト剥離工程、⑦ウェハを洗浄する洗浄工程、⑧加工されたウェハを検査する検査工程などが含まれている。なお、ウェハプロセッシング工程 S 2 は必要な層数だけ繰り返し行われる。

図 10 はウェハプロセッシング工程 S 2 の中核を成すリソグラフィ工程の内容を示すフローチャートである。レジスト塗布工程 S 1 1 でウェハ上にレジストを塗布したならば、露光工程 S 1 2 において、マスク製造工程で作製されたマスクを用いて露光装置によりレジストを露光する。露光されたレジストを現像工程 S 1 3 で現像すると、レジストのパターンが得られる。このレジストパターンは、続くアニール工程 S 1 4 により安定化される。

上述した露光工程 S 1 2 に、本発明による荷電粒子線露光装置を用いることにより、精度の高い露光を行うことができる。特に、必要な最小線幅、およびそれに見合った重ね合わせ精度の実現に関係する工程はリソグラフィ工程であって、その中でも位置合わせ制御を含めた露光工程 S 1 2 が重要である。この露光工程 S 1 2 に本発明を適用することにより、今まで製造が不可能であるとされていた半導体デバイスの製造が可能となる。

産業上の利用可能性

なお、上述した実施例では電子線を用いた露光装置を例に説明したが、イオンビームを含む荷電粒子線を用いる露光装置に関して本発明は適用可能である。

請求の範囲

1.

偏向器を有し、マスク又はレチクル上のパターンに荷電粒子線を照射して、前記パターンの像を感応基板上に投影する荷電粒子線露光装置であって、

前記偏向器の少なくとも1つについて、その偏向器の偏向器コイルの見込み半角と Ampere Turn 値を、当該偏向器によって発生する磁場の 3θ 成分、 5θ 成分および 7θ 成分がほぼ0となるように設定する。

2.

請求項1に記載の荷電粒子線露光装置において、

前記偏向器の少なくとも1つは、見込み半角 θ_i がほぼ $180^\circ \times i/(2n+1)$ である n 組 ($n \geq 2$ 、 $i = 1 \sim n$) の偏向器コイルを有し、これらの偏向器コイルの Ampere Turn 値 J_i が、次の式を、 $1 \sim m$ の各整数値 k について、各々、ほぼ満足するように設定されている。

$$\sum_{i=1}^n J_i \cdot \sin(\theta_i) \neq 0 \quad \cdots(1)$$

$$\sum_{i=1}^n J_i \cdot \sin(2k+1)\theta_i = 0 \quad (k=1,2,\cdots,m) \quad \cdots(2)$$

ただし、 m の最小値は3 ($n=2$ のとき1、 $n=3$ のとき2) であり、最大値は $(n-1)$ である。

3.

請求項1に記載の荷電粒子線露光装置において、

前記偏向器の少なくとも1つは、見込み半角 θ_i がほぼ $180^\circ \times (i-1/2)/(2n-1)$ である n 組 ($n \geq 3$ 、 $i = 1 \sim n$) の偏向器コイルを有し、これらの偏向器コイルの Ampere Turn 値 J_i が、次の式を、 $1 \sim m$ の各整数値 k について、各々、ほぼ満足するように設定されている。

$$\sum_{i=1}^n J_i \cdot \sin(\theta_i) \neq 0 \quad \cdots(1)$$

$$\sum_{i=1}^n J_i \cdot \sin(2k+1)\theta_i = 0 \quad (k=1,2,\cdots,m) \quad \cdots(2)$$

ただし、 m の最小値は3 ($n=3$ のときは2) であり、最大値は $(n-1)$ であ

る。

4.

請求項 1 に記載の荷電粒子線露光装置において、

前記偏向器の少なくとも 1 つは、見こみ半角が 45° の偏向器コイル、及び当該偏向器内の他の偏向器コイルとの見こみ半角の和が 90° となる偏向器コイルのうち、少なくとも一方を有する。

5.

請求項 4 に記載の荷電粒子線露光装置において、

前記偏向器の少なくとも 1 つは、見込み半角 θ_i がほぼ $180^\circ \times i/(2n)$ である n 組 ($n \geq 3$ 、 $i = 1 \sim n$) の偏向器コイルを有し、これらの偏向器コイルの Ampere Turn 値 J_i が、次の式を、 $1 \sim m$ の各整数値 k について、各々、ほぼ満足するように設定されている。

$$\sum_{i=1}^n J_i \cdot \sin(\theta_i) \neq 0 \quad \cdots(1)$$

$$\sum_{i=1}^n J_i \cdot \sin(2k+1)\theta_i = 0 \quad (k=1,2,\cdots,m) \quad \cdots(2)$$

ただし、 m の最小値は 3 ($n = 3$ のときは 2) であり、最大値は $(n - 1)$ である。

6.

請求項 4 に記載の荷電粒子線露光装置において、

前記偏向器の少なくとも 1 つは、見込み半角 θ_i が $180^\circ \times (i - 1/2)/(2n)$ である n 組 ($n \geq 3$ 、 $i = 1 \sim n$) の偏向器コイルを有し、これらの偏向器コイルの Ampere Turn 値 J_i が、次の式を、 $1 \sim m$ の各整数値 k について、各々、ほぼ満足するように設定されている。

$$\sum_{i=1}^n J_i \cdot \sin(\theta_i) \neq 0 \quad \cdots(1)$$

$$\sum_{i=1}^n J_i \cdot \sin(2k+1)\theta_i = 0 \quad (k=1,2,\cdots,m) \quad \cdots(2)$$

ただし、 m の最小値は 3 ($n = 3$ のときは 2) であり、最大値は $(n - 1)$ であ

る。

7.

請求項 1 に記載の荷電粒子線露光装置において、

前記偏向器の少なくとも 1 つは、 n 組 ($n \geq 3$) の偏向器コイルを有し、これら偏向器コイルの Ampere Turn 値がほぼ等しく設定されている。

8.

リソグラフィ工程を有する半導体デバイス製造方法であって、

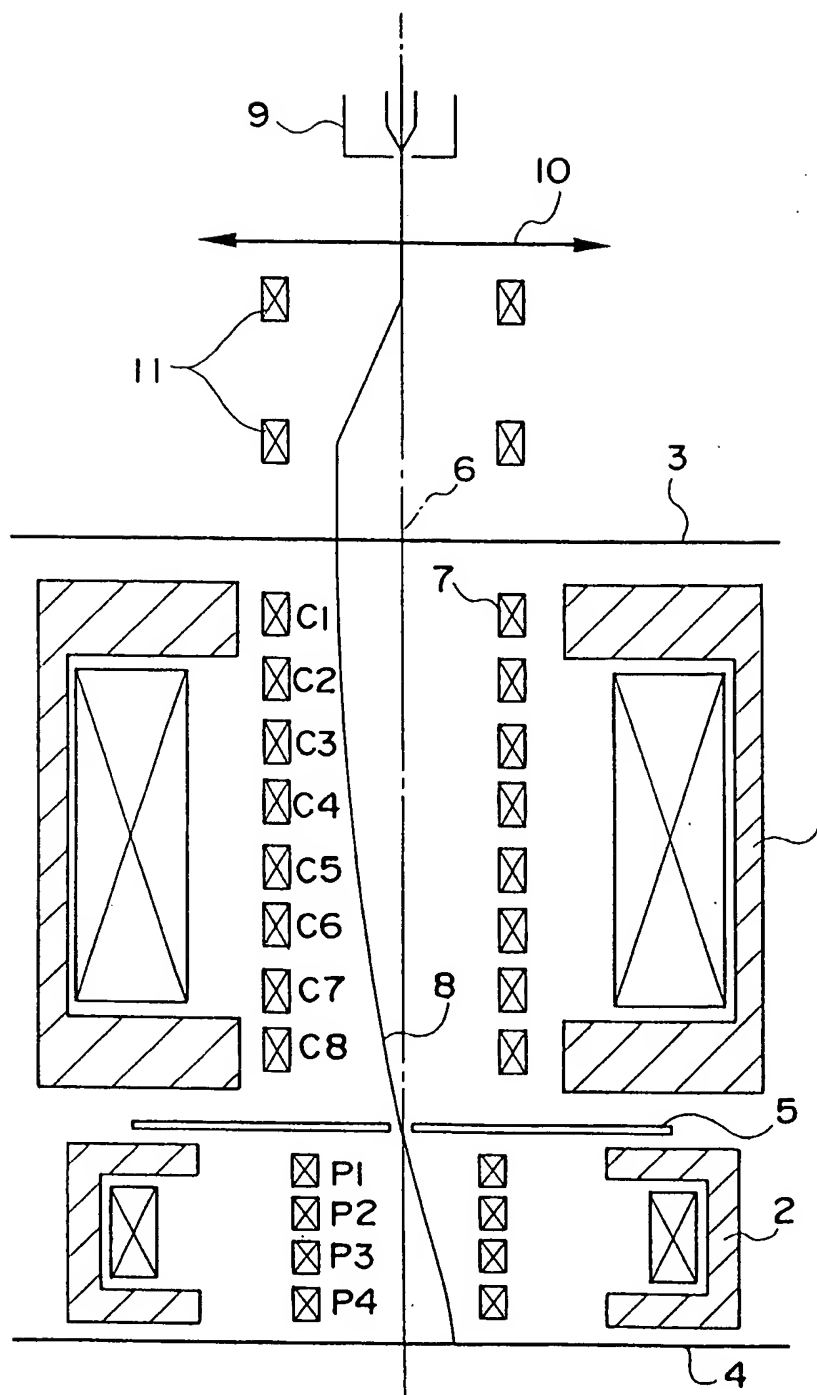
前記リソグラフィ工程に請求項 1 ～請求項 7 の何れかに記載の荷電粒子線露光装置を使用する。

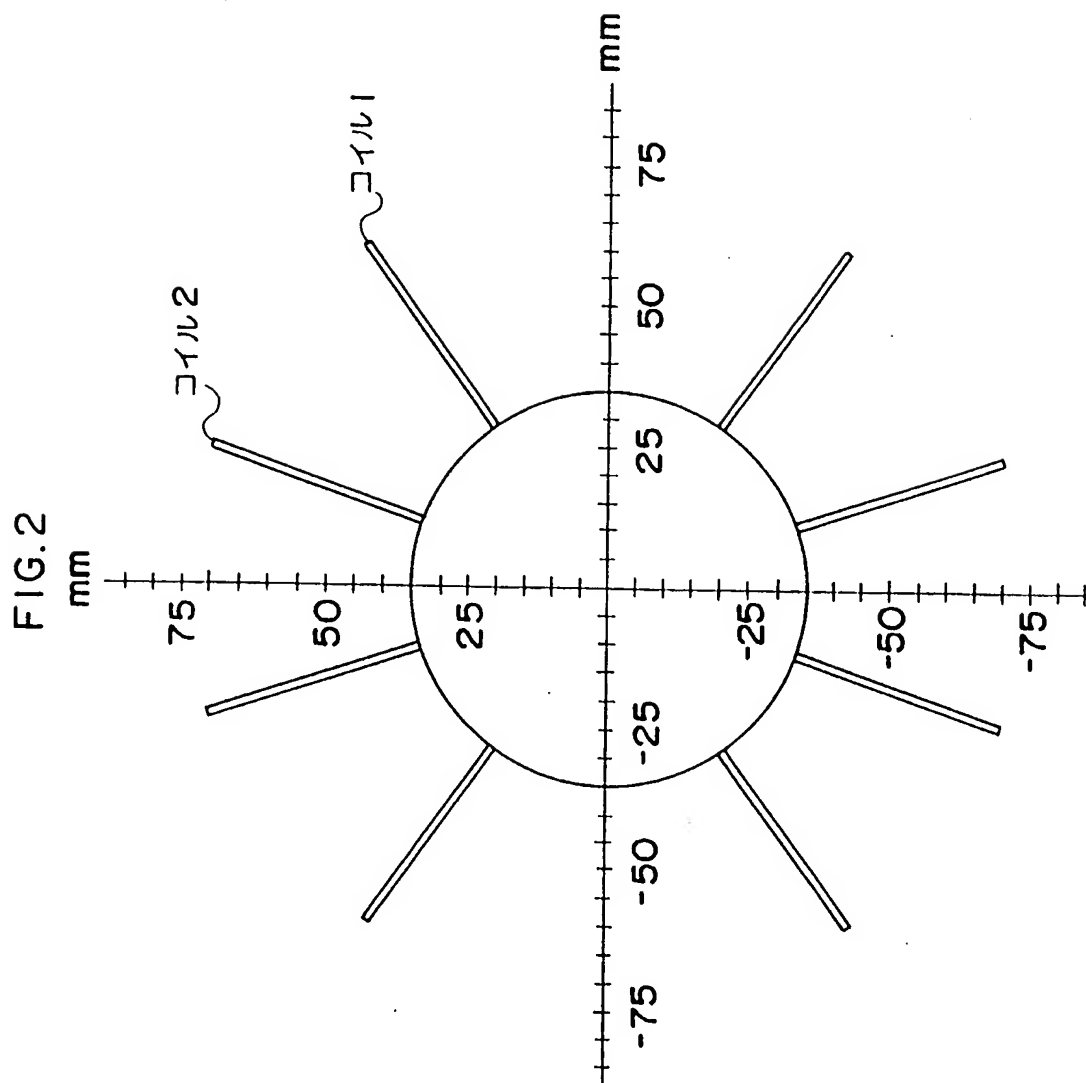
9.

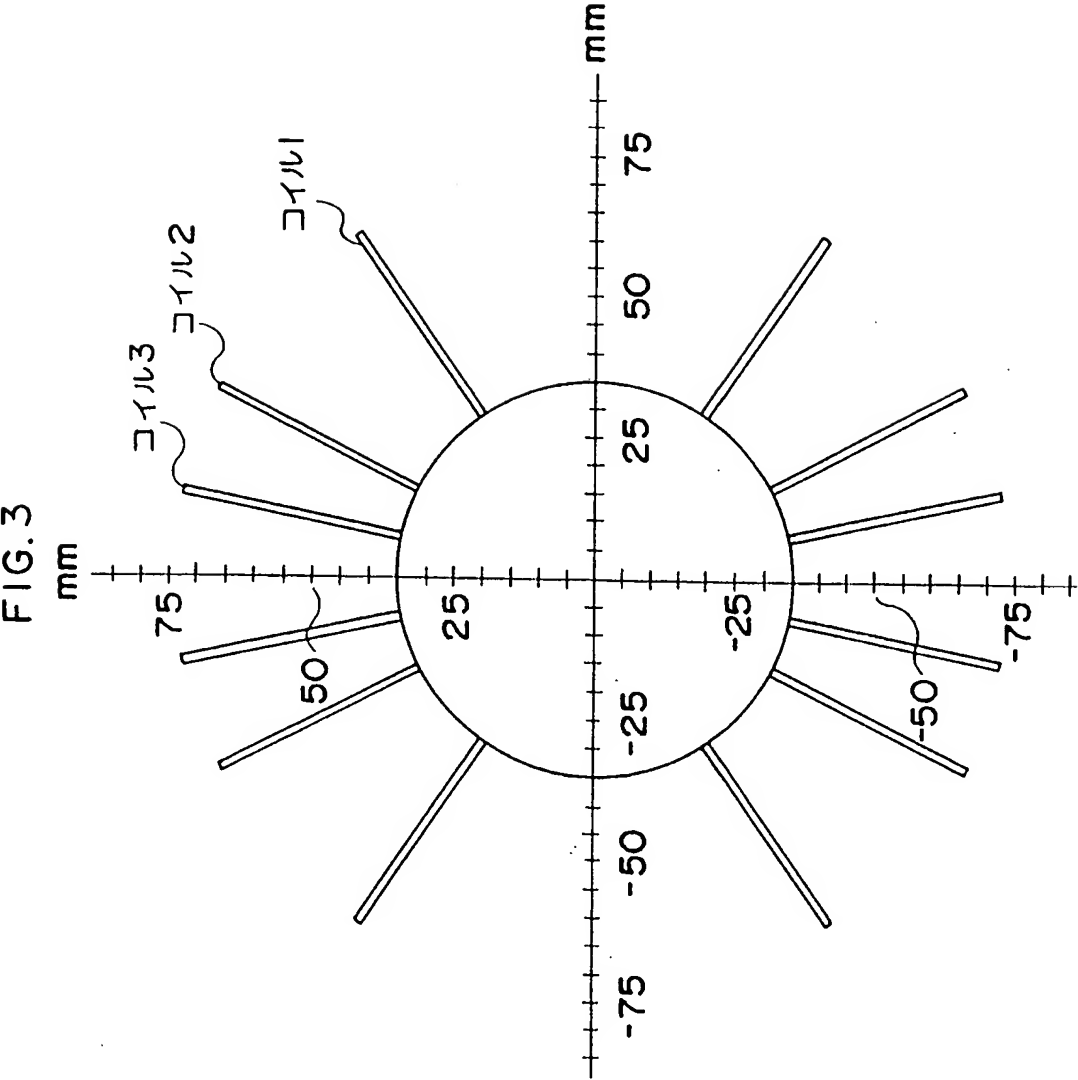
請求項 8 に記載の半導体デバイス製造方法により製造された半導体デバイス。

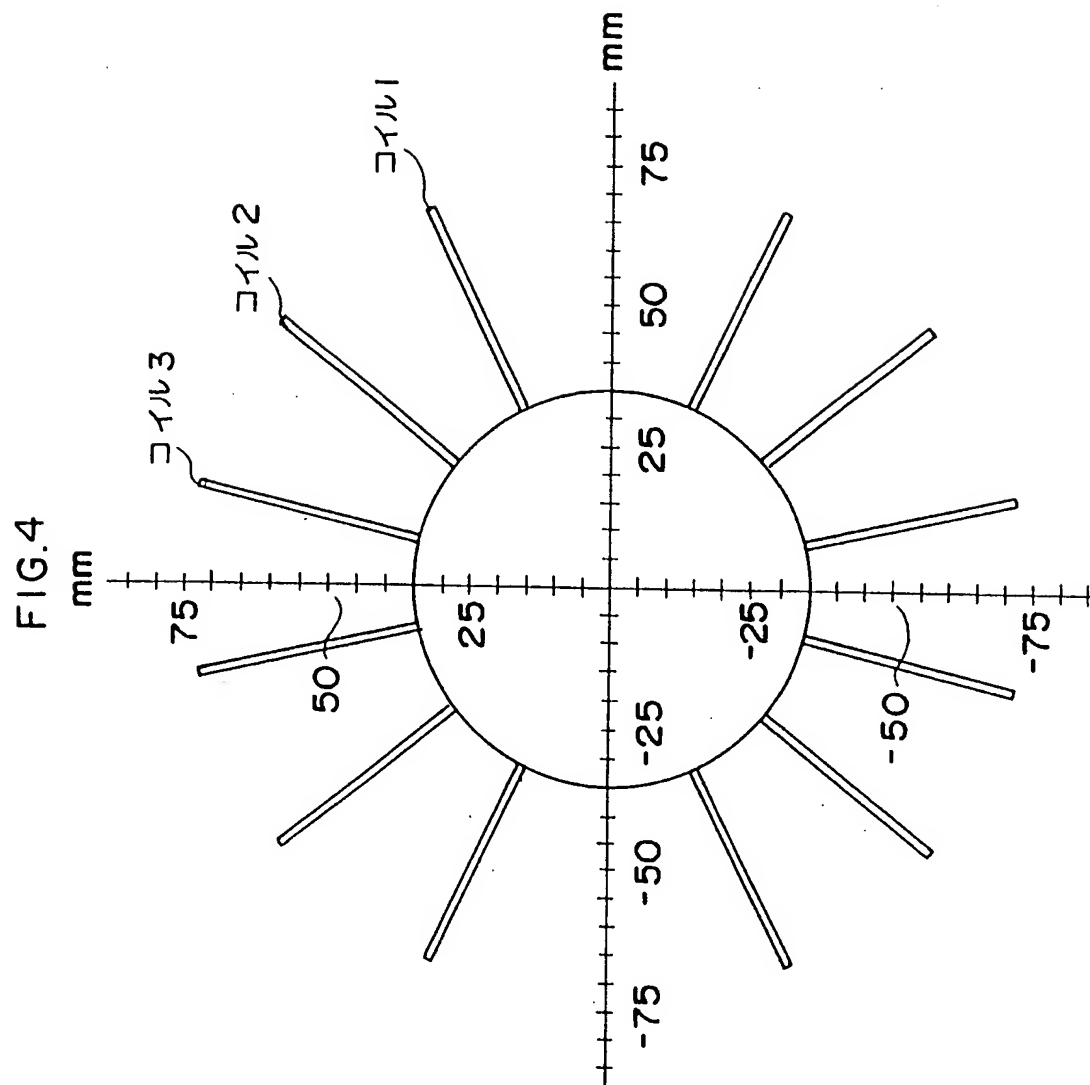
1/15

FIG. 1

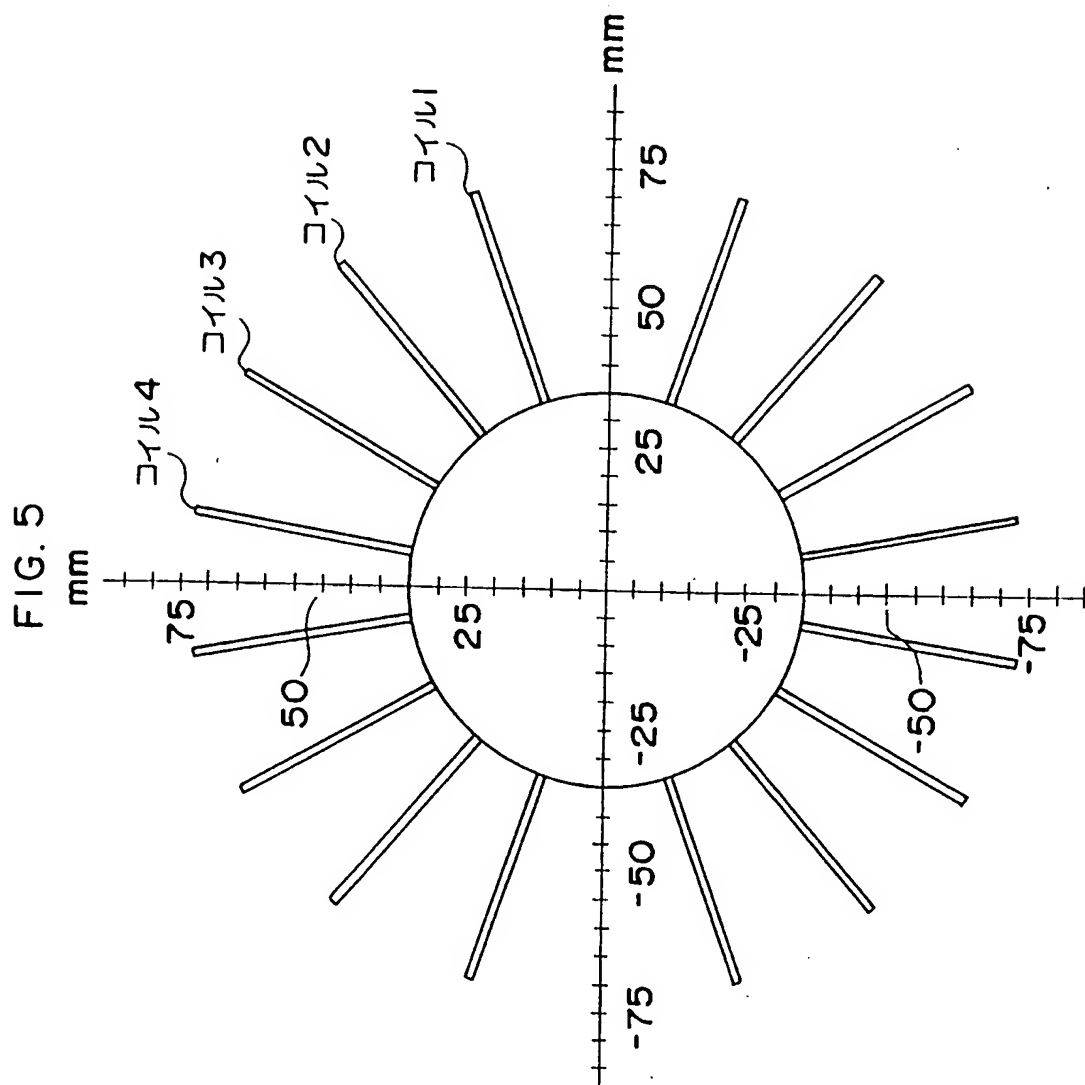


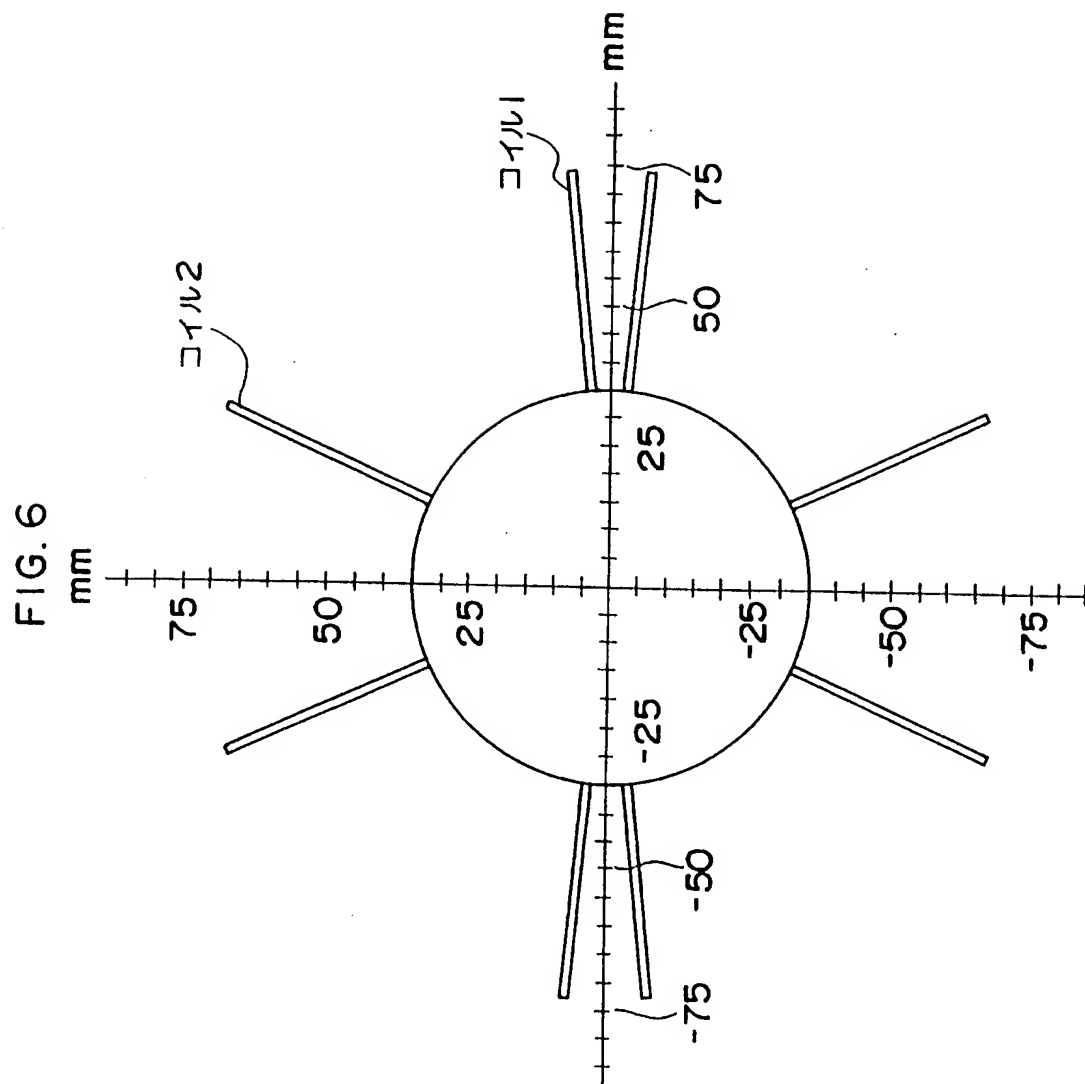






5/15





7/15

FIG. 7

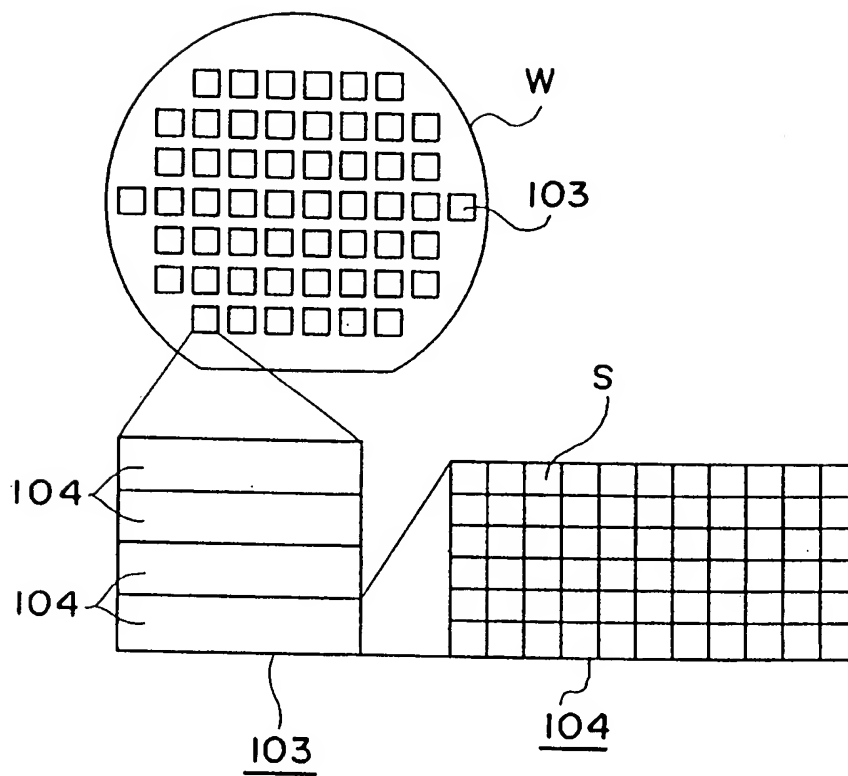
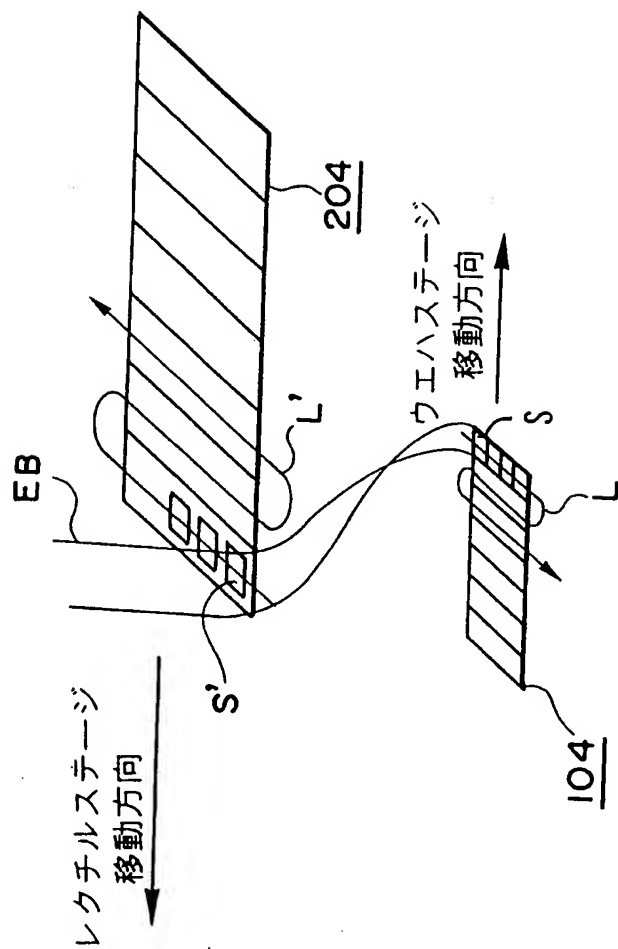
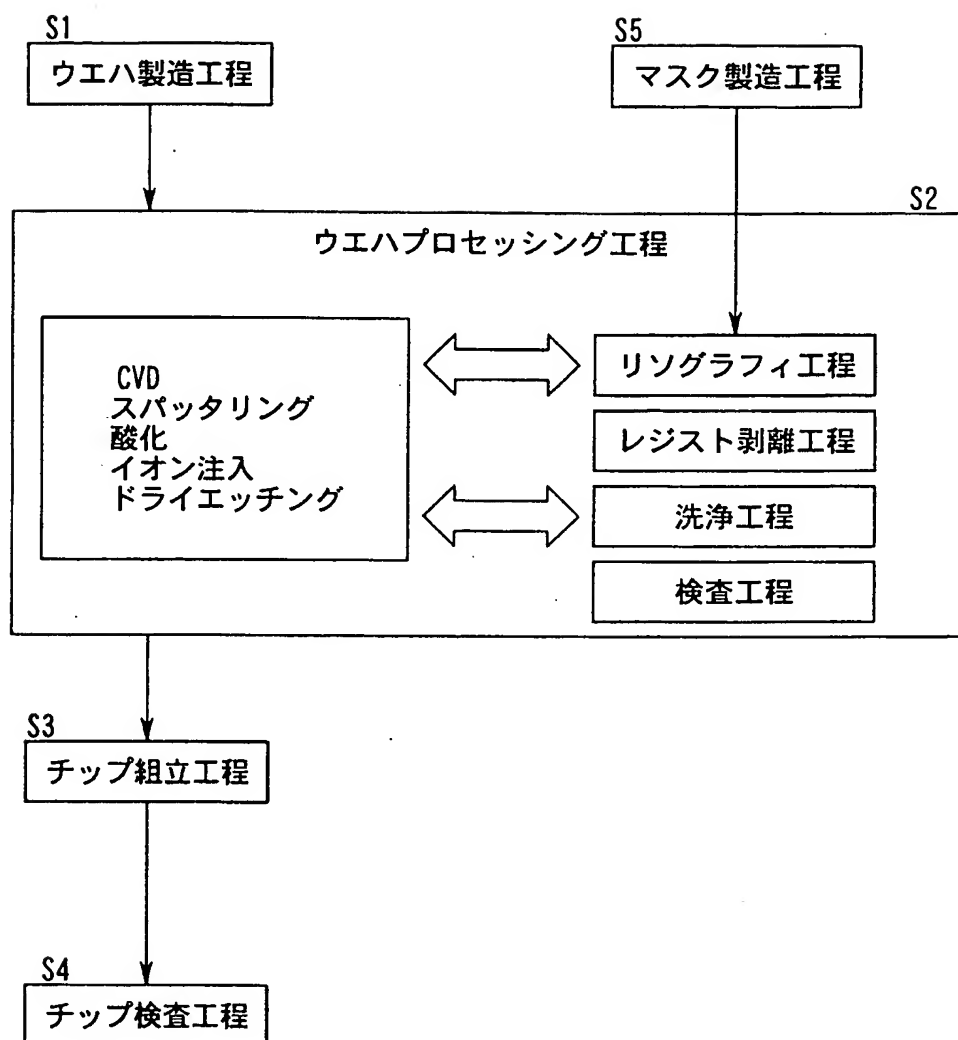


FIG. 8



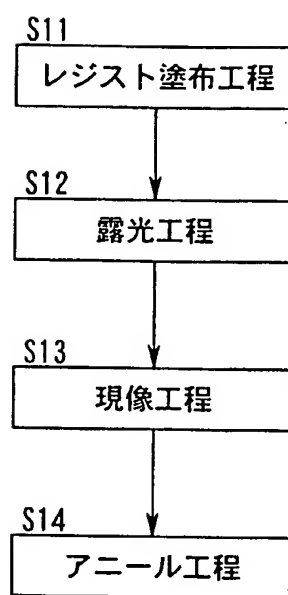
9/15

FIG. 9



10/15

FIG. 10

リソグラフィ工程

11/15

FIG. 11

No.	対応する 実施形態	枚数／ 象限	見込み半角				
			コイル1	コイル2	コイル3	コイル4	コイル5
1	1	2	36.000	72.000			
2	1	3	25.714	51.429	77.143		
3	1	4	20.000	40.000	60.000	80.000	
4	2	2.5	18.000	54.000	90.000		
5	2	3.5	12.857	38.571	64.286	90.000	
6	2	4.5	10.000	30.000	50.000	70.000	90.000
7	4	2.5	30.000	60.000	90.000		
8	4	3.5	22.500	45.000	67.500	90.000	
9	5	3	15.000	45.000	75.000		
10	5	4	11.250	33.750	56.250	78.750	
11	6	3	33.944	63.063	78.330		
12	6	3.5	31.650	57.484	72.959	90.000	

12/15

FIG. 12

No.	励磁電流 (Ampere-Turn)				
	コイル1	コイル2	コイル3	コイル4	コイル5
1	0.407	0.659			
2	0.215	0.387	0.482		
3	0.132	0.247	0.333	0.379	
4	0.214	0.561	0.346		
5	0.110	0.309	0.446	0.247	
6	0.067	0.192	0.295	0.362	0.192
7	0.289	0.500	0.289		
8	0.166	0.306	0.400	0.217	
9	0.149	0.408	0.558		
10	0.084	0.241	0.360	0.425	
11	0.357	0.357	0.357		
12	0.307	0.307	0.307	0.153	

13/15

FIG. 13

No.	$d_{2k-1} = \sum_j j \cdot \sin(2k-1) \theta_j$											
	d1	d3	d5	d7	d9	d11	d13	d15	d17			
1	0.866	0.000	0.000	0.000	-0.866							
2	0.866	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.866					
3	0.866	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.866			
4	0.866	0.000	0.000	0.000	8.666							
5	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.87					
6	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.87			
7	0.866	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.866						
8	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.87				
9	0.866	0.000	0.000	0.000	0.000	0.866						
10	0.866	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.866				
11	0.866	0.000	0.000	0.000	-0.548							
12	0.87	0.00	0.00	0.00	-0.30							

14/15

FIG. 14

No.	見込み半角許容誤差 (±deg)					Ampere-Turn許容誤差 (±)				
	コイル1	コイル2	コイル3	コイル4	コイル5	コイル1	コイル2	コイル3	コイル4	コイル5
1	0.548	0.339				0.009	0.014			
2	0.848	0.471	0.378			0.008	0.019	0.011		
3	1.199	0.638	0.473	0.416		0.010	0.010	—	0.010	
4	0.932	0.356	0.288			0.010	0.027	0.004		
5	1.532	0.547	0.378	0.341		0.013	0.009	0.037	0.004	
6	2.226	0.773	0.505	0.411	0.386	0.017	0.008	0.017	0.017	0.004
7	0.691	0.399	0.346			0.008	—	0.004		
8	1.018	0.551	0.422	0.390		0.009	0.012	0.022	0.004	
9	1.219	0.446	0.327			0.012	0.012	0.012		
10	1.868	0.656	0.438	0.372		0.015	0.008	0.042	0.010	
11	0.511	0.511	0.511			0.008	0.052	0.010		
12	0.550	0.550	0.550	0.550		0.008	0.063	0.013	0.004	

15/15

FIG. 15

		例 1	例 2	例 3	例 4	比較例
C1～C8コイル寸法	光軸方向の長さ (mm)	45	45	45	45	45
	内半径 (mm)	35	35	35	35	35
	外半径 (mm)	74	74	74	74	74
P1～P4コイル寸法	光軸方向の長さ (mm)	27	27	27	27	27
	内半径 (mm)	19	19	19	19	19
	外半径 (mm)	47	47	47	47	47
見込み半角	コイル 1 (deg)	36.000	33.944	25.714	20.000	6.000
	コイル 2 (deg)	72.000	63.063	51.429	40.000	66.000
	コイル 3 (deg)		78.330	77.143	60.000	
	コイル 4 (deg)				80.000	
Ampere-Turn値	コイル 1	0.407	0.357	0.215	0.132	0.851
	コイル 2	0.656	0.357	0.387	0.247	0.851
	コイル 3		0.357	0.482	0.333	
	コイル 4				0.379	
3次成分により発生する4重収差	ボケ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	歪み	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5次成分により発生する4重収差	ボケ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	歪み	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7次成分により発生する4重収差	ボケ	0.0	0.0	0.0	0.0	267.2
	歪み	0.0	0.0	0.0	0.0	314.1
9次成分により発生する4重収差	ボケ	15.1	9.5	0.0	0.0	
	歪み	15.9	10.0	0.0	0.0	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP00/00822

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H01J37/147, H01L21/30, G03F7/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H01J37/147, H01J37/305, H01L21/30, G03F7/20

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1929-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2000
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2000	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2000

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP, 10-303118, A (Nikon Corporation), 13 November, 1998 (13.11.98), Par. Nos. [0002], [0003] (Family: none)	1-9
A	JP, 10-256136, A (Nikon Corporation), 25 September, 1998 (25.09.98), Full text; all drawings & US, 5994709, A	1-9
A	JP, 10-106471, A (Nikon Corporation), 24 April, 1998 (24.04.98), Full text; all drawings & US, 6008498, A	1-9

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
09 May, 2000 (09.05.00)

Date of mailing of the international search report
23 May, 2000 (23.05.00)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JPO0/00822

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01J37/147, H01L21/30, G03F7/20

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01J37/147, H01J37/305, H01L21/30, G03F7/20

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1929-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2000年
 日本国登録実用新案公報 1994-2000年
 日本国実用新案登録公報 1996-2000年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP, 10-303118, A(株式会社ニコン) 13. 11月. 1998年(13. 11. 98) 段落番号【0002】、【0003】 (ファミリー無し)	1-9
A	JP, 10-256136, A(株式会社ニコン) 25. 9月. 1998年(25. 09. 98) 全文、全図 & US, 5994709, A	1-9
A	JP, 10-106471, A(株式会社ニコン) 24. 4月. 1998年(24. 04. 98) 全文、全図 & US, 6008498, A	1-9

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

09. 05. 00

国際調査報告の発送日

23.05.00

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
 郵便番号 100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

杉浦 淳

2G

8704

電話番号 03-3581-1101 内線